

# 水资源脆弱性及其定量评价

刘 绿 柳

(北京师范大学 环境科学研究所, 北京 100875)

**摘 要:** 总结了水资源脆弱性的研究领域、研究进展及其目前存在的一些问题,认为在水资源脆弱性方面的研究比较薄弱,应拓宽范围,加强理论与实际应用研究。参考目前水资源脆弱性研究的成功与不足,重新定义了水资源脆弱性的概念,用来描述在发生水灾、旱灾或水资源受到过度开发或污染时,系统本身所表现出的结构和功能易于受到破坏的性质、缺乏恢复到初始状态的能力等,扩展了水资源脆弱性的研究范围。为了便于进行水资源脆弱性评价,建立了易于操作、可比性强、综合全面的指标体系,并给出了一种定量综合评价方法。

**关键词:** 水资源; 脆弱性; 指标体系; 评价方法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)02-0041-04

中图分类号: TV213

## Concept and Quantitive Assessment of Vulnerability of Water Resource

LIU Lu-liu

(Institute of Environmental Science of Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** The domain and advancements of vulnerability are concluded. It is believed that the research is weak in aspect of water resource and that the scope should be widened and the academic and applied research should be strengthened. The vulnerability of water resource is redefined to describe the ability of the system to recover its original structure and function when it is damaged. The research scope is widened, and an integrative index system is built to express the vulnerability of water resource, and a quantitative assessment method is brought forward.

**Keywords** water resource; vulnerability; index system; assessment method

### 1 引 言

目前脆弱性的研究领域主要有生态学、灾害学、环境学。脆弱和脆弱性经常出现在这些领域的有关文献中,用来描述相关系统及其组成要素易于受到影响和破坏,并缺乏抗拒干扰、恢复初始状态(自身结构和功能)的能力<sup>[1]</sup>。其研究对象主要包括人类系统、生态系统、人工构筑物等。

灾害学界于 20 世纪 80 年代开始重视人类脆弱性在灾害形成中的作用,将脆弱性引入该领域。20 世纪 90 年代, Kenneth Hewitt 进一步将脆弱性研究和“调整”的思想扩展到自然、技术领域和减轻灾害的各个环节,将减灾研究和实践向综合化方向大大地推进了一步。灾害学界对脆弱性的定义主要有 3 种<sup>[2]</sup>,强调人类社会经济系统在受到灾害影响时的抵御、应对和恢复能力,侧重灾害脆弱性产生的人为因素。

Blaikie 等提出: 灾害 = 致灾因子 + 脆弱性,指出脆弱性是灾害形成的根源,致灾因子是灾害形成的条件。

生态学界对脆弱性的研究较多,主要对象为生态环境。目前还没形成生态环境脆弱性的统一定义,主要有 3 种理解<sup>[3]</sup>。广义的观点为第 3 种观点,即脆弱性指环境的退化超过了现有的社会经济、技术水平所能长期维持目前的人类利用和发展的水平。脆弱性的产生原因应包括自然因素与人为因素。环境的脆弱性特征受各种自然和人为因素的综合作用,其发展变化也对环境组成结构和人类对资源环境的利用方式产生深刻的影响<sup>[4]</sup>。

目前国内有关水资源脆弱性研究较少,针对地表水脆弱性的研究更少。国内对地下水脆弱性的研究始于 20 世纪 90 年代中期,国外则较早,始于 1968 年。随着研究的深入,由美国国家科学研究委员会<sup>[5]</sup>于 1993 年给出了地下水脆弱性的定义: 地下水脆弱性是污染到达最上含水层之上某特定位置的倾向性与可能性,并将地下水脆弱性分为本质脆弱性与特殊脆弱性,这与前面灾害学界与生态学界对脆弱性的自然因素与人为因素是相一致的。

收稿日期: 2001-07-12

作者简介: 刘绿柳(1973-),女(汉族),河北衡水人,博士研究生,研究方向为环境评价、规划与管理,从事水资源与环境生态方面的研究工作。E-mail: liulvliu@263.net

## 2 资源脆弱性概念及脆弱度的度量

水资源是自然资源中非常重要的一种资源,人类的生产、生活、生物的生长发育处处离不开水,水与人类的命运息息相关。前人已对水进行了多方面的研究,然而在水资源脆弱性方面研究较少,起步较晚,对水资源脆弱性的理解尚未达成共识,理论还不成熟。目前脆弱性研究主要集中于水质方面,对水量的研究较少。主要研究成果有刘淑芳等<sup>[6]</sup>于 1995 年研究的河北平原的地下水防污性能,主要是地下水本质脆弱性方面;长春科技大学应用水文地质研究所于 1996 年研究松嫩盆地地下水脆弱性,将本质脆弱性与特殊脆弱性结合在一起;郑西来等于 1997 年对西安市潜水的脆弱性的研究则是两者成功结合的又一实例;陶涛<sup>[8]</sup>等论述了可靠性、回弹性、脆弱性在水资源系统中的应用;孙才志<sup>[9]</sup>等在总结国外成果的基础上论述了地下水脆弱性的评价因素、评价方法,展示了研究前景;唐国平<sup>[10]</sup>等提出了气候变化下水资源脆弱性及评估方法。

前人对水资源脆弱性的研究主要侧重于地下水的研究,对地表水的研究较少,侧重于水质方面,对水量的研究较少。与其它一些系统的评价指标体系一样,水资源脆弱性的评价也尚无形成一个统一的指标体系。而且存在某些指标不易获得、可操作性差的缺

点。文献 [9] 中提到的评价指标尽管较全面,但存在资料不易获取、个别指标可比性不强的缺点。文献 [10] 中提到的几个指标则具有易操作、可比性强的特点,但不够全面。目前对脆弱性的评价方法虽较多,但在评价时往往一定的问题,如多参数数学模型过于繁琐,指标权重赋值主观性较强或完全按数学模型计算,灵活性差,存在地区局限性等。

本文结合对脆弱性及水资源的理解,并考虑以往研究的成功与不足,重新界定了水资源的研究范围,主要包括地表水系统、地下水系统,与水资源有关的社会系统(见图 1),涉及水量与水质 2 个方面。并综合考虑自然和人为双重作用,定义了水资源系统的脆弱性。我们把水资源脆弱性理解为:水资源系统易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态,受损后难于恢复到原来状态和功能的性质。主要体现在地表、地下水资源数量、质量,水资源循环更新速率、水资源承载能力等。水资源所处的自然背景(如地形、地貌、地质结构、植被状况等)、产业结构、管理机制、经济技术水平、开发利用方式等均构成水资源系统脆弱性的影响因素。在水资源丰富、水循环更新快、产业结构合理、管理机制完善、经济技术水平高、开发利用方式得当的情况下,水资源系统比较不脆弱,有利于可持续发展。反之,水资源系统脆弱程度大,不利于甚至阻碍可持续发展。

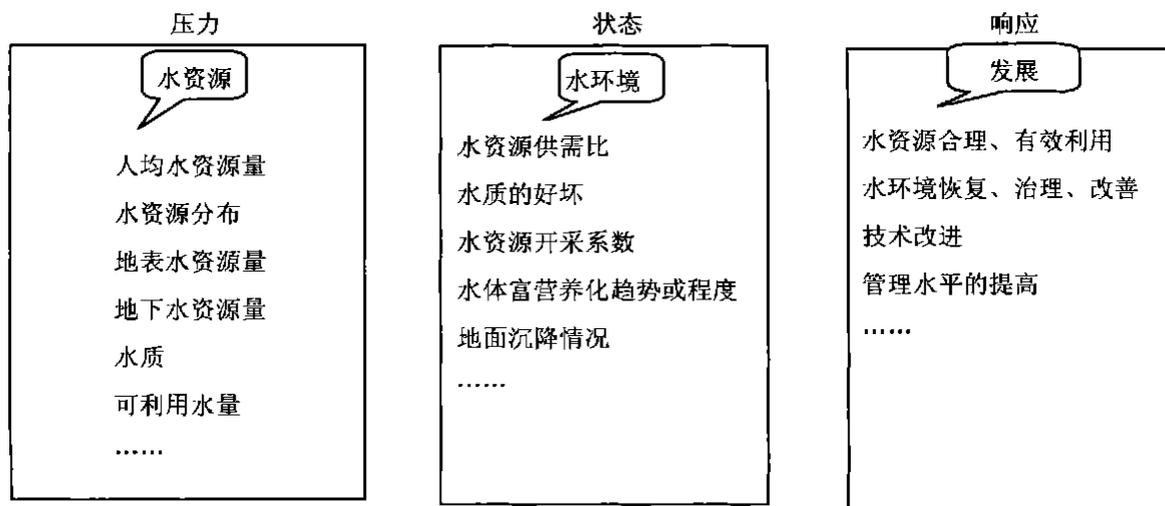


图 1 水资源脆弱性压力—状态—响应模型

水资源脆弱性评价因素包括水资源的数量、质量以及稀释、净化污染物等抗干扰能力以及社会开发利用方式、排污状况、水处理能力等。涉及自然因素和社会因素 2 个方面。为了从数量上来衡量水资源的脆弱性,则需要将其定量化,为此我们引入脆弱度的概念用以衡量水资源的脆弱程度,其数值越大,脆弱度越大,抵抗干扰的能力越差,一旦受到破坏,恢复能力也

越差,数值越小,抗干扰能力越强,恢复能力也越强。由于影响水资源脆弱性的因素众多,因此欲计算脆弱度,首先需要建立一个全面且针对性强的指标体系。

## 3 水资源脆弱性指标体系

建立水资源脆弱性指标体系的目的在于寻求一系列具有代表意义而又能充分反映问题且能够定量

表达我们对水资源脆弱性认识的特征指标。在进行指标选取时,遵循指标的相对稳定和独立性、易操作性和可比性原则,内容包括水资源系统本质脆弱性和特殊脆弱性,即水资源的内部性质与外部性质。在指标可比性方面的体现如水利发电量/总发电量、开采系数、超采系数、水质综合指数、储量/供给量、需求量/供给量等

参照文献 [11],我们采用压力-状态-响应指标体系模式,首先建立了水资源压力-状态-响应模型。根据对该模型的分析,我们建立了水资源脆弱性评价指标体系(如图 2) 该指标体系考虑了自然因素、人

为因素,涵盖了地表水、地下水。其中降水量用降水深度表示;空间分布用区域不同测站的降水深度的方差表示;地下水年更新能力用年更新量/区域面积表示;包气带的性质用包气带厚度、土壤渗透性表示;含水层岩性用导水系数、给水度等表示;水利工程调节能力用水库的调节库容表示;超采系数=超采量/允许开采量;用地面沉降面积/区域面积表示地下水超采引起的地面沉降严重程度;用储量/供给量表示利用当地水的能力;需求量/供给量表示供求关系的紧张程度;污水处理率和废水回用率用来表示水处理技术的高低

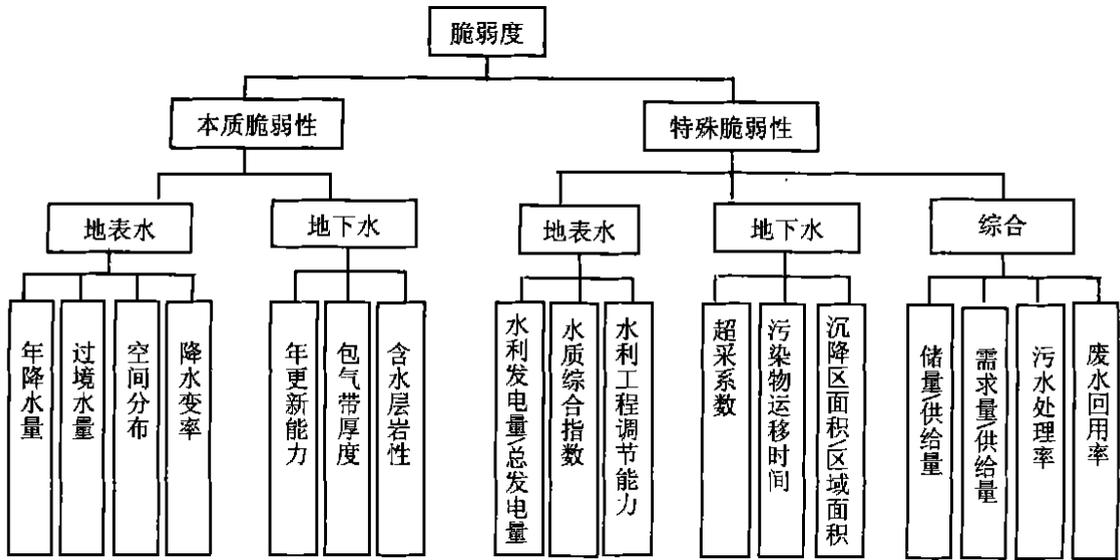


图 2 水资源系统脆弱性指标体系

#### 4 脆弱度的计算方法

目前,针对多层次、多指标、大系统的评价方法有很多,它们都可以用来计算水资源脆弱度,其综合评价方法主要有参数系统法、数值模型法、背景值法、关系分析法等<sup>[9]</sup>。

参数系统法通过选择评价的代表性参数来建立一个参数系统,每个参数被赋以一个相应的权重,权重反映了参数与水资源脆弱性的关系。这种方法是系统评价中较为常用的一种方法。背景值方法是一种将研究对象与一个同其条件相类似且已知脆弱性的地区相比较,进而得出研究对象脆弱性的评价方法,该法多为定性或半定量评价。相关分析与数值模型法依赖于数学公式,适用于具有足够、可靠的长序列数据的研究区域。

本文采系统参数法与背景值法相结合进行脆弱度评价。首先建立数学模型,然后用该模型计算脆弱度。模型及计算步骤如下。

(1) 建立一个参评体系,用以与研究区参照对比,可用反映指标的中间水平值来表示,可查阅一些具有代表性的地区的资源确定该参照系,该参照系代表中等脆弱程度,各参考指标值为  $C_i$

(2) 用 AHP 法求各指标的权重  $W_i$ 。

(3) 量化指标,不能量化的指标采用 0~1 标度法将其量化,量化后的指标值为  $P_i$ 。

(4) 标准化指标。对数值越大越脆弱的指标,用研究区指标值去除参照值,计算公式为:  $X_i - i = P_i / C_i$  如降水变率、超采系数、地面沉降面积/区域面积;对数值越小越脆弱的指标,用参照值去除研究区指标值,计算公式为:  $X_i = C_i / P_i$ ,如污水处理率、年更新能力。式中  $X_i$  为标准化后的第  $i$  个指标的值

(5) 用加权平均法计算脆弱度

$$\text{脆弱度: } V = \sum W_i \times X_i$$

式中:  $W_i$ ——第  $i$  个指标的权重  $V$  值越大表明脆弱程度越大,不利于该区的持续发展。脆弱度的分级标准见表 1

表 1 脆弱程度分级标准

程度	不脆弱	较不脆弱	中等脆弱	较脆弱	非常脆弱
范围	<0.2	0.2~0.7	0.7~1.3	1.3~1.8	>1.8

脆弱性是可持续发展的障碍,水资源脆弱性应作为水资源持续开发利用研究中的一部分内容。脆弱度越大,越不利于可持续发展。因此对水资源系统脆弱性的研究有助于进一步了解水资源系统的性质,有助于水资源的持续利用与规划以及社会的良性发展。本文在前人研究基础上扩展了水资源脆弱性的范围,建立了表示水资源脆弱性的指标体系,提出了一种计算脆弱度的可行方法,旨在与大家共同探讨。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 商彦蕊.自然灾害综合研究的新进展——脆弱性研究[J].地域研究与开发,2000,19(2):73-77.
- [2] 商彦蕊,史培军,等.人为因素在农业灾害形成过程中所起作用的探讨——以河北省旱灾脆弱性研究为例[J].自然灾害学报,1997(4):35-43.
- [3] 赵跃龙,刘燕华,等.脆弱生态环境与工业化的关系[J].经济地理,1996,16(2):86-90.

- [4] 张明.榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J].地理研究,2000,19(1):30-36.
- [5] National Research Council (U. S.). Ground water vulnerability assessment - predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty [M]. Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, 1993. 204.
- [6] 刘淑芳,等.区域地下水防污性能评价方法及其在河北平原的应用[J].河北地质学院学报,1996(1):41-45.
- [7] 郑西来,等.西安市潜水污染的潜在性分析与评价[J].工程勘察,1997(4):22-24.
- [8] 陶涛,纪昌明,等.可靠性、回弹性、脆弱性在水资源系统中的应用[J].水力发电学报,1999(3):103-109.
- [9] 孙才志,潘俊,等.地下水脆弱性的概念、评价方法与研究前景[J].水科学进展,1999,10(4):444-449.
- [10] 唐国平,李秀彬,刘燕华.全球气候变化下水资源脆弱性及其评估方法[J].地球科学进展,2000,16(2):313-317.
- [11] 冷疏影,刘燕华.中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计[J].中国人口·资源与环境,1999,9(2):40-45.

(上接第 37 页)

## 2.3 进一步强化“预防为主”首要方针

抓住水保方案的编制、审查审批、检查、验收等各个环节,作为主要工作来抓,突出“三同时”制度落实的监督管理;同时,加强对生态环境建设治理成果的监督和管护,尤其对国家重点投资的大规模建设项目,主动服务、积极执法,实施跟踪监督和现场监理;提倡并推行全社会水土资源开发与保护的新理念,比如城市建设尽量合理使用,少占土地资源,公路、铁路的设计尽量挖填平衡,减少沿河而建的概率。合理开发矿山、保护地下水等。

## 2.4 综合发展人为水土流失防治技术

随着水土流失防治的社会化、市场化、效益化,以及我国加入 WTO 的迫切需要,对人为水土流失防治理论的研究和应用措施标准化的探索更为迫切,水土保持设施的设计、施工规范、验收标准及水土流失预测方法、防治理论指导和量化性效益计算方法等都需要及时确定和建立,不断探索和建立新的综合性学科,使水土流失防治技术服务性更加科学化、系统化。

## 2.5 开展水土保持监测工作

水土保持监测是预防监督管理的基础,是科学开展水土保持工作和水土流失防治的前提,也是新世纪水土保持领域发展的突破点。目前,从管理体制上,水土保持监测和预防监督管理工作结合紧密,需要重点发展,快速提高;在区域性宏观遥感监测的基础上还要深抓众多的典型样区和实测点的具体微观监测,并突出城市人为活动和各种开发建设活动造成水土流失的专项监测等,科学地指导水土流失防治任务。

## 2.6 提高水土保持预防监督管理整体水平

继续开展以地(市)级为单元的规范化建设试点,深化并推广监督管理规范化建设成果,达到整体提高的目的;充分发挥流域机构的协调、指导、宣传、示范、推动作用,建立交流和培训中心,建立监督管理重点示范基地,促进各省(区)的经验交流和试点成果推广,培训监督管理骨干队伍和技术服务力量,提高水土保持监督人员和监测人员的整体水平。

本文得到了刘万铨教授级高工的悉心指导,在此表示衷心的感谢!